



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 **Offenlegungsschrift**
10 **DE 100 29 938 A 1**

51 Int. Cl. 7:
G 02 B 13/14
G 03 F 7/20
G 02 B 3/00
G 02 B 1/02

21 Aktenzeichen: 100 29 938.5
22 Anmeldetag: 17. 6. 2000
43 Offenlegungstag: 5. 7. 2001

DE 100 29 938 A 1

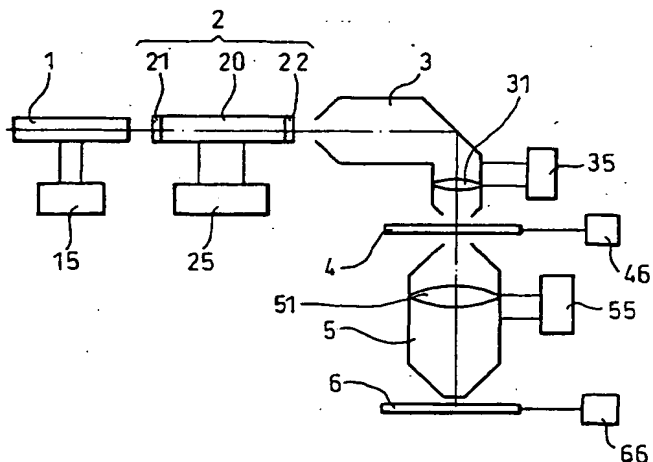
66 Innere Priorität:
199 31 947. 2 09. 07. 1999

71 Anmelder:
Carl Zeiss, 89518 Heidenheim, DE

72 Erfinder:
Schuster, Karl-Heinz, 89551 Königsbronn, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

- 54 Optisches System für das Vakuum-Ultraviolett
57 Erfindungsgemäß nutzt also ein optisches System den isotropen Punkt, die Wellenlänge bei der die Doppelbrechung eines Kristalls (vorzugsweise Mg F₂) aufgehoben ist. Damit wird hauptsächlich ein bekannt guter Optikwerkstoff, der nur durch seine Doppelbrechung eingeschränkt ist, nämlich Mg F₂, für die VUV-Optik zugänglich.



DE 100 29 938 A 1

Die Erfindung betrifft ein optisches System mit einer Lichtquelle und einem Objektiv mit Linsen aus Kristall.

Derartige Systeme sind als UV-optische Systeme mit Kalziumfluorid-Linsen lange bekannt, ebenfalls mit Bariumfluorid. Sie werden auch als Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlagen mit höchsten Anforderungen ausgeführt. Besonders wichtige Wellenlängen unterhalb 200 nm bis in den Bereich von 100 nm, also im VUV-Bereich, werden durch verschiedene Fluoride zugänglich. In der nicht vorveröffentlichten Patentanmeldung DE 199 29 701.0 desselben Erfinders und Anmelders, die hiermit in die Offenbarung aufgenommen wird, sind Beispiele dafür angegeben.

Obwohl Magnesiumfluorid in großen Stücken hergestellt und gut in optischer Qualität bearbeitet werden kann und hohe Transmission bis an den unteren Rand des obengenannten Bereichs mit guter Strahlungsresistenz verbunden, ist es bisher wegen seiner Doppelbrechung als Linsenwerkstoff nicht in Betracht gezogen worden, wie auch alle anderen doppelbrechenden Kristalle.

VUV-Optiken, besonders auch Mikrolithographie-Projektionsobjektive, sind bereits als katoptrische Systeme ausgeführt worden, vgl. EP 0 779 528 A (US Ser. No. 571081, 12.12.1995). Die gleiche Schrift zeigt aber auch ein Bedürfnis für katadioptrische Systeme, wenn ein geeigneter Linsenwerkstoff zur Verfügung steht, wie dies für 193 nm der Fall ist.

Es besteht daher die Aufgabe, alternative Möglichkeiten der Gestaltung von VUV-optischen Systemen bereitzustellen.

Gelöst wird die Aufgabe durch ein optisches System nach Anspruch 1. Alternativ geben die Ansprüche 2 und 9 etwas speziellere Lösungen an.

Vorteilhafte Weiterbildungen sind Gegenstand der Unteransprüche 3 bis 8 und 10.

Die "Anormale Dispersion der Doppelbrechung von Saphir und Magnesiumfluorid im Vakuum-Ultraviolett" ist aus V. Chandrasekharan und H. Damany, Applied Optics 8 (1969), 671-675 bekannt, mit dem Verschwinden des Brechzahlunterschieds für MgF_2 bei 119,4 nm und für Saphir bei 142,6 nm.

Diese alte Information macht sich die Erfindung zunutze und gibt erstmals ein abbildendes optisches System an, bei dem die Doppelbrechung des Linsenmaterials durch Wahl der Lichtwellenlänge ausgeschaltet wird. Damit wird besonders dem Bedürfnis der Mikrolithographie nach optischen Systemen mit VUV-Wellenlängen Rechnung getragen.

Für praktikable Ausführungen sorgt dabei besonders die Ausführung nach Unteranspruch 7 oder 8, bei dem ein Lyot-Filter, für das das gleiche Material wie für die Linsen geeignet ist, für die geeignete Filterung des Lichts sorgt.

Optische Lithographie zwischen 157 nm und 100 nm wäre für viele an der Lithographie Beteiligte ein sehr wirtschaftlicher Schritt. Die Probleme unterhalb 157 nm sind in erster Linie Materialprobleme. Die Hauptkandidaten für ganz kurze Wellenlängen sind in Tabelle 1 angegeben:

Tabelle 1

	Strahlungsresistenz	Transmission	Größe	Verarbeitbarkeit
Li F	eher schlecht	gut	eher klein	gut
Ca F	gut	unzureichend	groß	gut
Be F ₂	mittel	befriedigend	mittel	giftig
Mg F ₂	gut	gut	groß	gut

MgF_2 ist aber stark doppelbrechend. Schon wenige Teile eines Millimeters in Transmission genügen, je nach Orientierung und Polarisationszustand, um eine unzulässige Wellenfrontaufspaltung in der Bildebene zu verursachen.

Bei ganz genauer Betrachtung des Materials, insbesondere des Verlaufs der Doppelbrechung über der Wellenlänge ergibt sich bei MgF_2 ein ganz eigenartiges Verhalten. Mit steigender Strahlungsfrequenz steigt die Doppelbrechung stetig an und erreicht etwa bei 153 nm ein Maximum. Anschließend fällt sie sehr stark ab und erreicht schließlich negative Werte (vgl. obengenannten Artikel aus "Applied Optics"). Erfindungsgemäß wird nun genau der Punkt in der Frequenz genutzt, bei dem das Material sich isotrop verhält. Dies ist bei 119,49 nm der Fall.

Der Sprung von 157 nm auf 120 nm wäre für eine weitere Generation von Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlagen gerade wichtig. Da die Doppelbrechung eine Funktion der Wellenlänge und der Materialtemperatur ist, müssen für den isotropen Punkt Arbeitsbereiche eingehalten werden. Durch die gute Wärmeleitfähigkeit von MgF_2 und die exzellente Temperierung in modernen Mikrolithographie-Projektionsobjektiven ist der Gang mit der Temperatur eher leichter einzustellen. Schwieriger wird es mit der chromatischen Bandbreite des Objektivs aus MgF_2 . Diese kann ja bezüglich der Doppelbrechung nicht achromatisiert werden. Die Dispersion der Doppelbrechung bei 119,49 nm beträgt $0,256 \cdot 10^{-6}/\text{pm} = \Delta n$. Für eine numerische Apertur von $\text{NA} = 0,80$ wird man eine Δn von etwa $\pm 1,5 \cdot 10^{-7} = \Delta n$ zulassen, da es sich um einen nicht anfokusierbaren Fehler handelt. Die spannungsdoppelbrechungsbedingte Bandbreite des Systems bei $\text{NA} = 0,80$ liegt etwa bei 0,5 μm . Damit ist die doppelbrechungsinduzierte Bandbreite größer, als die reine isotrope Dispersionsbandbreite, die man für ein Vollfeldobjektiv mit $\text{NA} = 0,80$ und MgF_2 bei 119 nm etwa auf 0,1 nm ansetzen muß. Damit sind erfindungsgemäß folgende Möglichkeiten gegeben:

1. Rein refraktives Objektiv mit MgF_2 bei 119,49 nm und 0,1 pm Laserbandbreite als Chromat.
2. Katadioptrisches Objektiv mit MgF_2 mit einer Bandbreite von etwa 0,5 pm, wie Schwarzschild, h-Design, z. B. nach US ser. No. 60/094579 vom 29.07.1998, usw.
3. Teilachromatisiertes refraktives Objektiv mit Bandbreite etwa 0,5 μm , z. B. $\text{BeF}_2 + \text{MgF}_2$ oder $\text{LiF} + \text{MgF}_2$.
4. MgF_2 wird bei 119,49 nm gezielt in der Kristallrichtung orientiert und mit spezieller Polarisation baufschlagt. Z. B. tangentielle Polarisation über der Pupille des Objektivs, E-Vektor des MgF_2 -Kristalles parallel zur optischen

Achse. Damit wird der Einfluß der Doppelbrechung gemildert für bestimmte pupillennahe und – bei telezentrischer Ausführung – bild- und objektnahe Linsen.

Damit sind dann breitbandigere Systeme möglich mit z. B. 1–2 μm Bandbreite.

Beim Aufbau eines Lasers für 119,49 nm kann auf einen zusätzlichen, die Bandbreite des Lasers einengenden Effekt zurückgegriffen werden. Zur Einengung der Bandbreite dienen heute Prismen, Gitter und Etalons. Aus dem Spektrum der Edelgase und ihrer Excimer-Verbindungen ist es möglich, mit Hilfe eines Lyot-Filters eine periodische Extraktion durchzuführen. 5

Gekreuzte Polarisatoren und ein MgF_2 -Stab, dessen Kristallachse senkrecht zur Stablängsausdehnung und unter 45° zu den Polarisatorachsen steht, bilden das Lyot-Filter. Die Modulation über der Frequenz nimmt einen bekannten Gang, zeigt aber bei 119,49 nm eine Besonderheit, wenn der Stab nur entsprechend lang gewählt wird. Bei 119,49 nm zeigt sich eine breitere Durchlässigkeit über der Frequenz. 10

Damit das ganze bestmöglich funktioniert, müssen die Temperatur des Objektivs und des Referenzstabes übereinstimmen, oder genau gemessen werden und der benutzte Bandpaßbereich ermittelt werden. Danach können Gitter, Prismen und Etalons ideal eingestellt werden, um für das Objektiv den idealen phasenverzögerungsarmen Betriebsmodus einzustellen. Das Lyot-Filter kann also entweder im aktiven Teil der Lichtquelle stehen oder als Wellenlängenreferenz dienen. 15

Näher erläutert wird die Erfindung anhand der Zeichnung.

Fig. 1 zeigt schematisch ein erfindungsgemäßes optisches System;

Fig. 2 zeigt qualitativ die Filterkennlinie eines MgF_2 -Lyot-Filters, und 20

Fig. 3 zeigt den Linsenschnitt eines katadioptrischen Projektionsobjektivs gemäß der Erfindung.

Das optische System der Fig. 1 ist als Projektionsbelichtungsanlage der Mikrolithographie mit Lichtquelle 1, Lyot-Filter 2, Beleuchtungsoptik 3, Maske 4, Projektionsobjektiv 5 und Wafer 6 ausgebildet.

Für die Lichtquelle 1 mit 119,49 nm zentraler Wellenlänge steht zwar kein "normaler" Excimer-Laser zur Verfügung, aber zahlreiche Nebenlinien davon, sowie Elektronen-Laser und die schon im o. g. Artikel aus "Applied Optics" angegebene Kontinuums-Strahlung stehen zur Verfügung. Eine Temperier- und Steuereinrichtung 15 sorgt für Abstimmung und Stabilität des Betriebs. 25

Das Lyot-Filter 2 ist aus einem MgF_2 -Stab 20 und zwei gekreuzten Polarisationsfiltern 21, 22 aufgebaut. Es wird durch eine Temperier-Einrichtung 25 abgestimmt.

Fig. 2 zeigt qualitativ den Transmissionsverlauf T über der Wellenlänge λ mit einem Plateau von ca. 0,5 pm Breite bei der Wellenlänge 119,49 nm. 30

Das Beleuchtungssystem 3 wird vorzugsweise nach den Erkenntnissen der nicht vorveröffentlichten Patentanmeldung DE 199 03 807 des gleichen Anmelders – die hiermit als Teil der Anmeldung zitiert wird – ausgebildet. Dabei werden katadioptrische Ausführungen bevorzugt, insbesondere mit mindestens einer Linse 31 aus MgF_2 . Auch hier dient ein Temperiersystem 35 zur genauen Anpassung des isotropen Punkts der Linse an das Beleuchtungslicht. 35

Die Maske 4 wird mit einem bekannten Handhabungs-, Justier- und Scanning-System 46 betrieben. Gleiches gilt für das zu belichtende Objekt, den Wafer 6 mit dem System 66.

Das Projektionsobjektiv 5 enthält mindestens eine Linse 51 aus doppelbrechendem Kristall mit isotropem Punkt, also insbesondere MgF_2 . Es kann von jeder bekannten refraktiven oder katadioptrischen Bauart sein und auch diffraktive Elemente enthalten (Zonenplatten). Katadioptrische Bauarten mit wenigen Linsen und hoher Apertur werden bevorzugt. Auch hier dient ein Temperiersystem 55 der genauen Abstimmung des isotropen Punkts. 40

In Fig. 3 ist ein Ausführungsbeispiel für das Projektionsobjektiv 5 angegeben, das eine Abwandlung des in EP 0 779 528, Fig. 3 beschriebenen katadioptrischen Ringfeld-Objektivs ist. Mit Anpassung an den spezifischen Brechungsindex lassen sich erfindungsgemäße Objektive also direkt aus bekannten ableiten. Objektebene 300, Linse 301, 302, Spiegel 303, zweite Linse 304, 305, zweiter Spiegel 306, nochmals zweite Linse 304, 305, dritter Spiegel 307, vierter Spiegel 308, Aperturblende AS, fünfter Spiegel 309, sechster Spiegel 310 und die dritte Linse 311, 312 werden bis zur Bildebene 313 durchlaufen. 45

Die geeignete Orientierung der Kristallachsen der MgF_2 -Linsen und der optimale Einsatz von Polarisations-Effekten ist bereits oben beschrieben.

Erfindungsgemäß nutzt also ein optisches System den isotropen Punkt, die Wellenlänge, bei der die Doppelbrechung eines Kristalls (vorzugsweise MgF_2) aufgehoben ist. 50

Damit wird hauptsächlich ein bekannt guter Optikwerkstoff, der nur durch seine Doppelbrechung eingeschränkt ist, nämlich MgF_2 , für die VUV-Optik zugänglich.

Patentansprüche

1. Optisches System mit einer Lichtquelle und einem Objektiv mit Linsen aus Kristall, **dadurch gekennzeichnet**, daß mindestens eine Linse aus einem Kristall mit einer Dispersion der Doppelbrechung besteht, bei der die Dispersionskurven für den ordentlichen und den außerordentlichen Strahl sich bei einer Isotropie-Wellenlänge schneiden und das Objektiv mit Licht der Lichtquelle mit der Isotropie-Wellenlänge bestrahlt wird. 60

2. Projektionsbelichtungsanlage der Mikrolithographie, dadurch gekennzeichnet, daß optische Elemente aus MgF_2 in Transmission angeordnet sind und eine VUV-Lichtquelle mit der Wellenlänge beleuchtet, bei der die Dispersionskurven für den ordentlichen und den außerordentlichen Strahl sich kreuzen, der Kristall also nicht doppelbrechend ist.

3. Projektionsbelichtungsanlage der Mikrolithographie, enthaltend ein optisches System nach Anspruch 1. 65

4. Optisches System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtquelle im Vakuum-Ultraviolett emittiert.

5. Optisches System nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Kristall Ma-

gnesiumfluorid oder Saphir ist.

6. Optisches System nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 5, gekennzeichnet durch die katadioptrische Ausführung des Objektivs.

7. Optisches System nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß im Strahlengang zwischen Lichtquelle und Objektiv ein Lyot-Filter angeordnet ist.

8. Optisches System nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Lyot-Filter aus dem gleichen Kristall wie die Linsen besteht.

9. Objektiv mit Linsen aus Magnesiumfluorid.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

FIG. 1

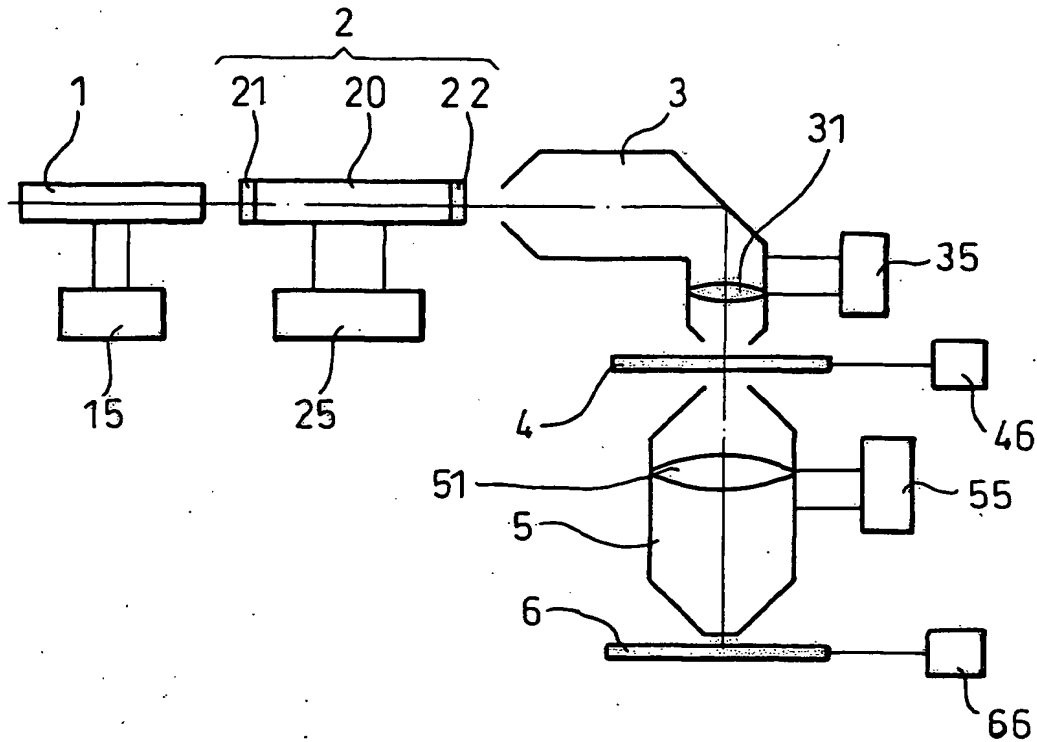


FIG. 2

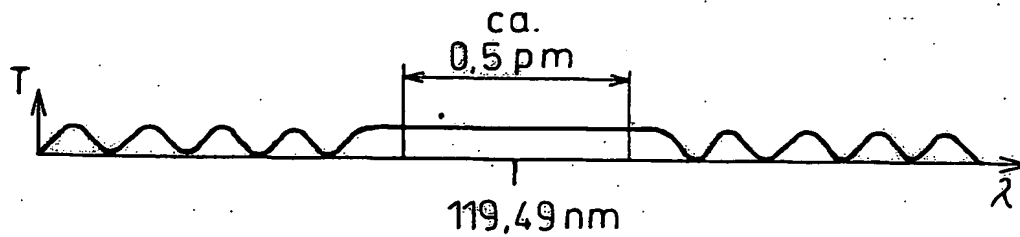
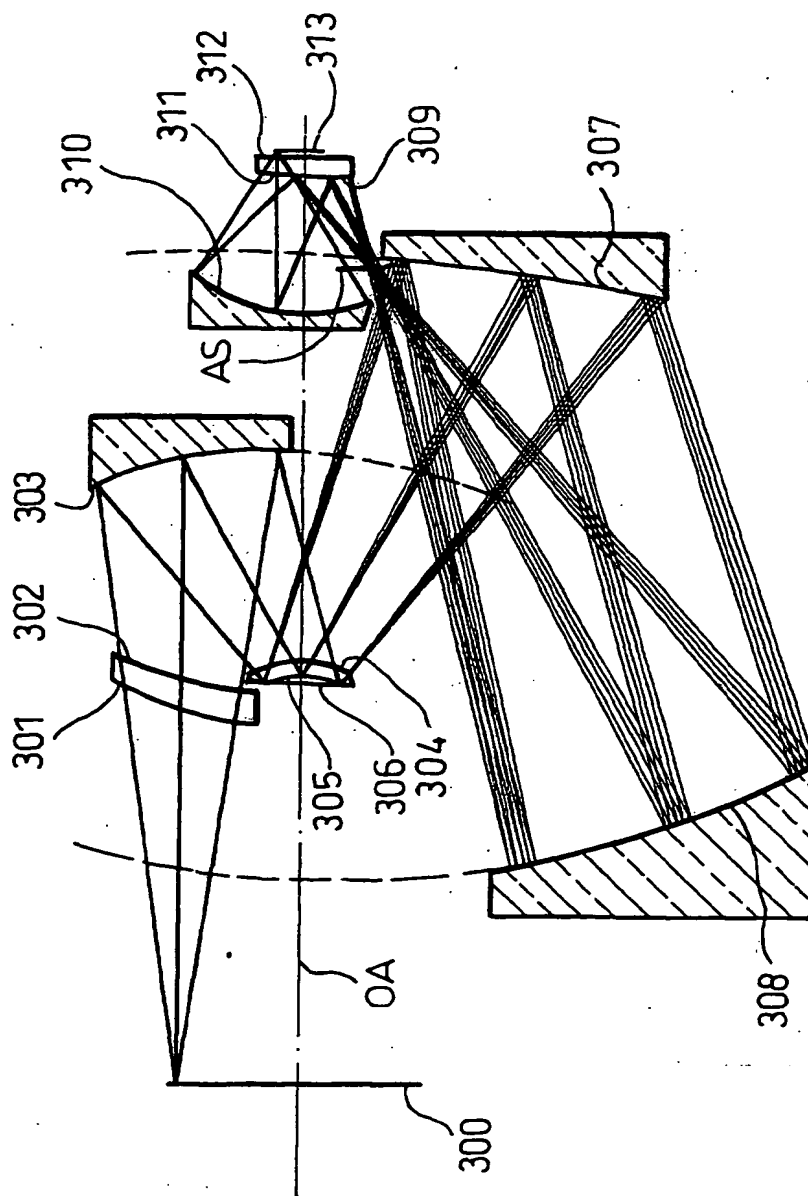


FIG. 3



Best Available Copy